Physiologie des récepteurs sensoriels

Dr Sayad .S
Neurophysiologue
Unité d'EFV
CHU Béni Méssous

Physiologie des récepteurs sensoriels

I- Introduction/Généralités

II- Classification des récepteurs selon:

1. Leur morphologie
2. La nature du stimulus
3. Leur localisation
4. La distance du stimulus
5. Les caractéristiques de leur réponse

III- Propriétés Générales des récepteurs

1. Stimulation adéquate
2. Seuil de la Réponse
3. Codage de l'information sensorielle

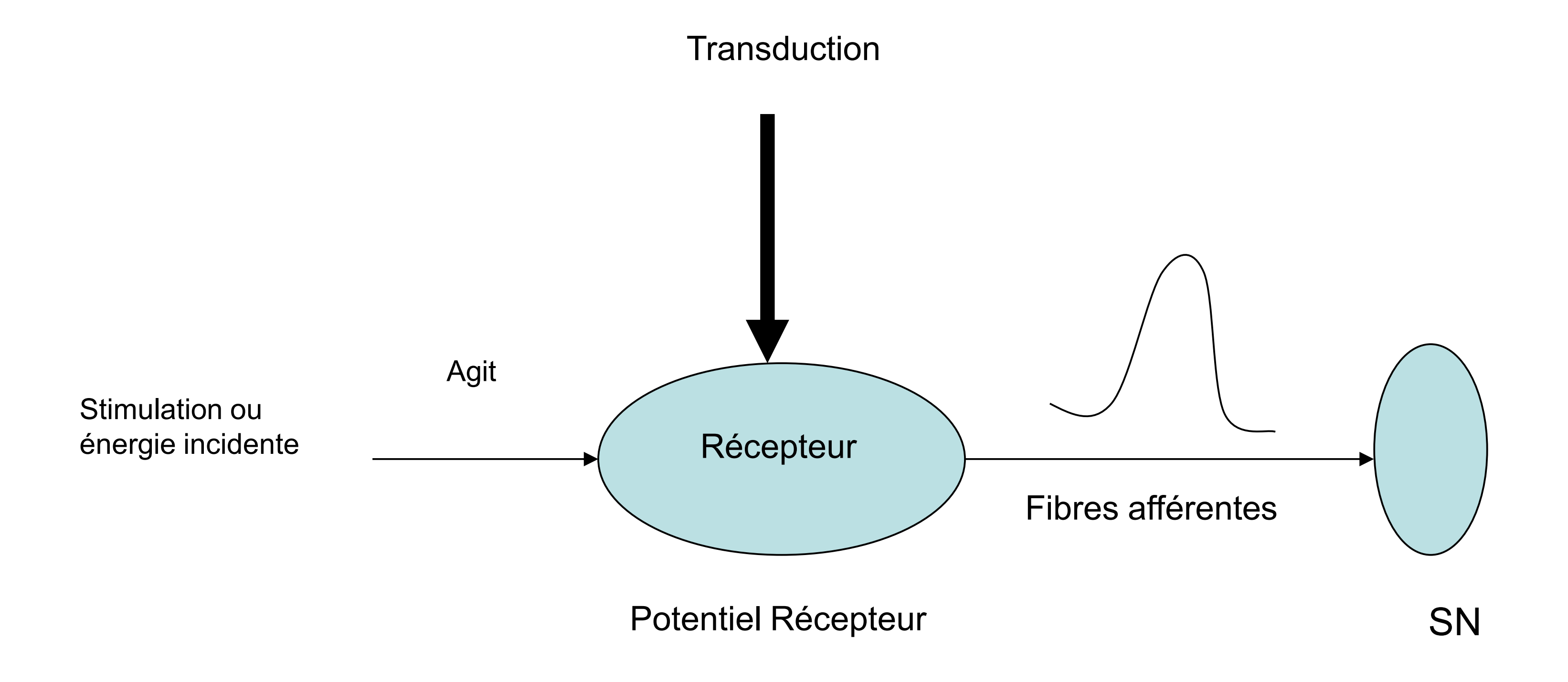
IV- Exemple d'un récepteur à adaptation rapide: C. Pacini

V- Exemple d'un récepteur à adaptation lente: FNM

VI- Conclusion

Introduction

- Tout organisme vivant est en interaction constante avec son environnement, ces interactions lui permettent de se déplacer ou de réagir vis-à-vis des stimulations du monde extérieur et de son propre monde intérieur(organisme).
- Cela nécessite la prise permanente d'information et la circulation de message entre les différentes cellules de l'organisme.
- Certaines cellules du SN se sont différencier en Récepteurs Sensoriels capables de coder des messages renseignant le SNC sur l'évolution des paramètres physico-chimiques du milieu; Le SNC intègre alors les divers informations ce qui permet généralement une réponse adaptée de l'organisme.
- **Définition**: **Les récepteurs sont donc des structures nerveuses spécialisées chargées de détecter les stimulations et de les traduire en énergie bioélectrique (PA).-**c'est au niveau du récepteur lui-même que vont avoir lieu les phénomènes de **transduction**. C'est une série d' opérations qui va assurer le passage d'une certaine forme d'énergie incidente (mécanique, thermique, chimique ou autre) à des variations de potentiel de membrane qu'on appelle **potentiel de récepteur: PR**.
- Si ces variations de potentiel sont supraliminaire, elle vont conduire à l'apparition du PA propagé qui va être véhiculé jusqu'au SNC par l'intermédiaire des fibres afférentes. Le PA constitue le message nerveux élémentaire.


Transduction
Agit
Stimulation ou
énergie incidente
Récepteur
Fibres afférentes
Potentiel Récepteur
SN

II-CLASSIFICATION DES RECEPTEURS

1. Selon leur morphologie :

- Les ***récepteurs différenciées*** : C. Pacini ,FNM ,R gustatif…etc.
- Les ***récepteurs peu ou pas différenciées***: terminaisons nerv. libres, les thermorécepteurs.

2. Selon la nature du stimulus :

- Les ***mécano récepteurs*** : sensibles à des stimulations mécaniques(C. Pacini).
- Les ***thermo récepteurs*** : sensibles à des variation de température.
- Les ***chémorécepteurs*** : sensibles à des stimulations chimiques .
- Les ***photo récepteurs*** ; qui sont sensibles à la lumière…etc.

3. Selon leur localisation :

- Les ***extérocepteurs***: activée par des stimulations provenant du monde externe localisées sur la surface cutanée (C. Pacini, thermo récepteurs).
- Les ***intérocepteurs***: sont activés par des stimulations provenant de l'organisme lui-même, se divisent en deux :

  Les viscéro-cepteurs : localisées au niveau de la paroi des viscères.

  Les propriocepteurs: localisées au niveau des muscles, des tendons et des articulations fuseau NM, organe tendineux de Golgi.

4. Selon la distance du stimulus:

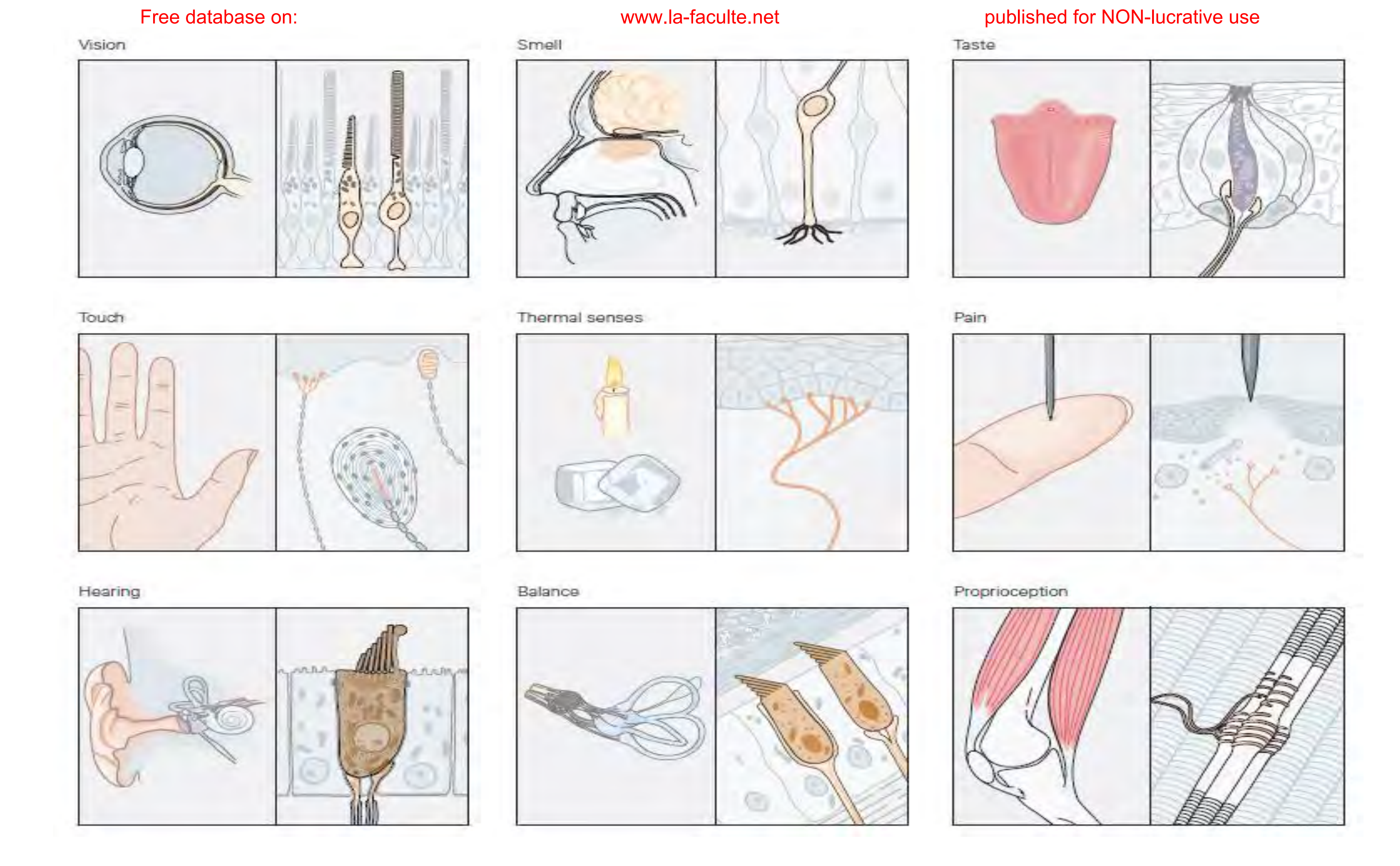
- Les ***télé récepteurs*** (photo récepteurs), et les ***récepteurs de contacts*** (C. Pacini).

5. Selon les caractéristiques de leur réponse :

- Les ***récepteur à adaptation rapide*** et les ***récepteurs à adaptation lente***.

III-LES PRINCIPALES MODALITES SENSORIELLES

Système Sensoriel	Modalité	Énergie de Stimulation	Classe de Récepteurs	Types Cellulaires des Récepteurs
Visuel	Vision	Lumière	Photorécepteurs	Bâtonnets, Cônes
Auditif	Audition	Son	Mécanorécepteurs	Cellules Ciliées (Cochlée)
Vestibulaire	Équilibre	Gravité	Mécanorécepteurs	Cellules Ciliées (Labyrinthe Vestibulaire)
Somato-sensoriel	Les sens somatiques touchés	Pression	Mécanorécepteurs	Mécanorécepteurs cutanés
	Proprioception	Déplacement	Mécanorécepteurs	Récepteurs Musculaires et Articulaire
	Sensibilité Thermique	Température	Thermorécepteurs	Récepteurs au Chaud et au Froid
	Douleur	Chimique Thermique ou Mécanique	Mécanorécepteurs Thermorécepteurs Chémorécepteurs	Nocicepteurs Polymodaux Thermiques et Mécaniques
	Démangeaisons	Chimique	Chémorécepteurs	Nocicepteurs Chimiques
Gustatif	Goût	Chimique (Ions et Molécule)	Chémorécepteurs	Cellules des Bourgeons du Goût
Olfactif	Odorat	Chimique (Molécule)	Chémorécepteurs	Récepteurs Olfactifs



Principales modalités sensorielles de l'être humain, assurées par différentes classes de récepteurs, localisés dans des organes sensoriels spécifiques

IV-PROPRIETES GENERALES DES RECEPTEURS

1. Stimulation Adéquate (spécifique)

Définition: c'est la nature de l'énergie incidente (stimulation), pour laquelle le récepteur possède le seuil le plus bas.

Un récepteur donné est souvent sensible à une seule forme d'énergie : Exp.

- Les mécano récepteurs: leur stimulus adéquat sont les stimulations mécaniques
- Les thermo récepteurs: leur stimulus adéquat sont les variations de température

2. Seuil de la Réponse:

Déf: Le plus petit stimulus capable d'évoquer une sensation correspond à l'intensité **seuil** .

on distingue deux types de récepteurs:

- Les récepteurs de bas seuil : nécessitent des stimulations de faible intensité de l'énergie spécifique, Exp : C. Pacini
- Les récepteurs à seuil élevé: nécessitent des stimulations à forte intensité de l'énergie spécifique, Exp : récepteur de la douleur.

3. Codage de l'Information Sensorielle:

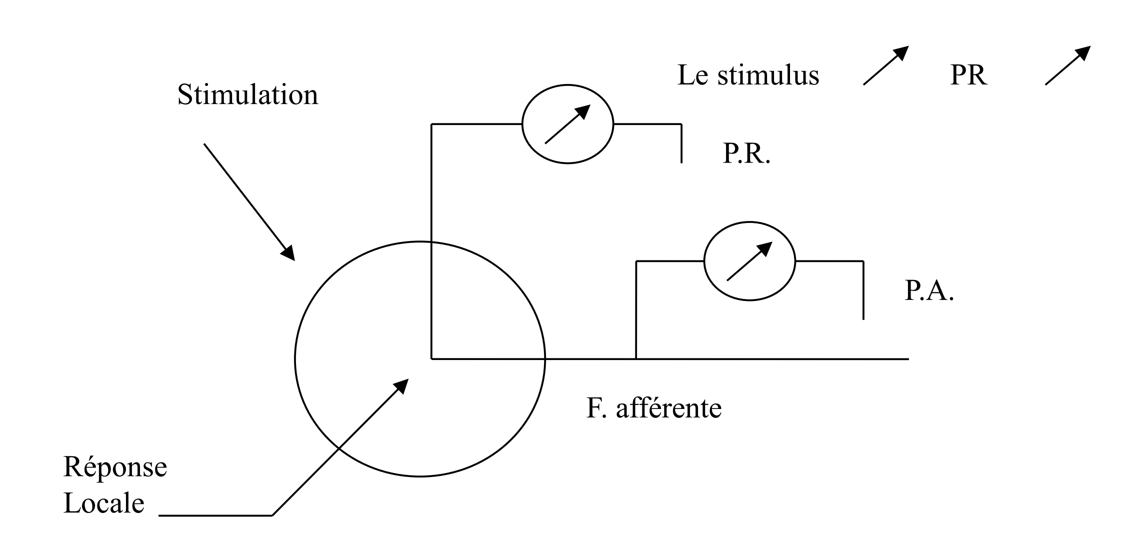
Le stimulus spécifique d'un récepteur se caractérise par son **intensité** sa **localisation** et sa **durée:**

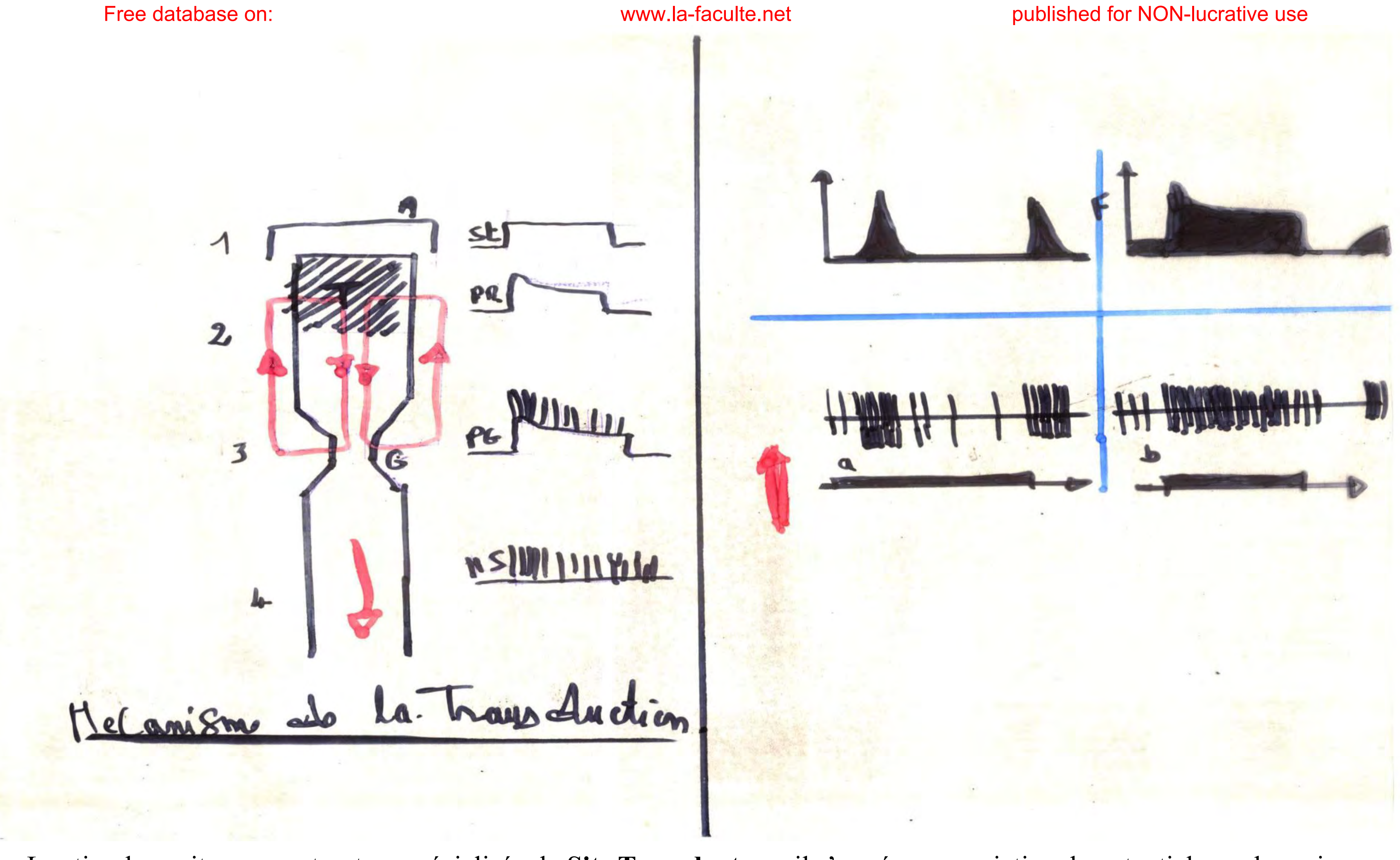
NB/ (il s'agit dans un premier temps de comprendre par quel mécanisme un stimulus par définition adéquat peut exciter un récepteur; nous verrons ensuite, comment le récepteur peut coder en réponse à la stimulation, l'intensité, la localisation et la durée du stimulus).

a) Transduction biologique

Définition: la transduction est une série d'opérations permettant la conversion par les récepteurs d'un signal (d'énergie physique ou chimique) qualitativement et quantitativement en un message nerveux: (influx nerveux)

Les phénomènes de transduction ont été élucidé grâce aux études éléctrophysiologiques d'ADRIAN : ces études ont consisté à enregistrer au moyen d'une électrode l'activité au niveau de la fibre afférente: recueille de PA ; par la suite au moyen d'une microélectrode qu'on introduit dans le récepteur lui-même pour enregistrer les phénomènes de transduction (modification de la perméabilité membranaire à certains ions NA+,K+;…)





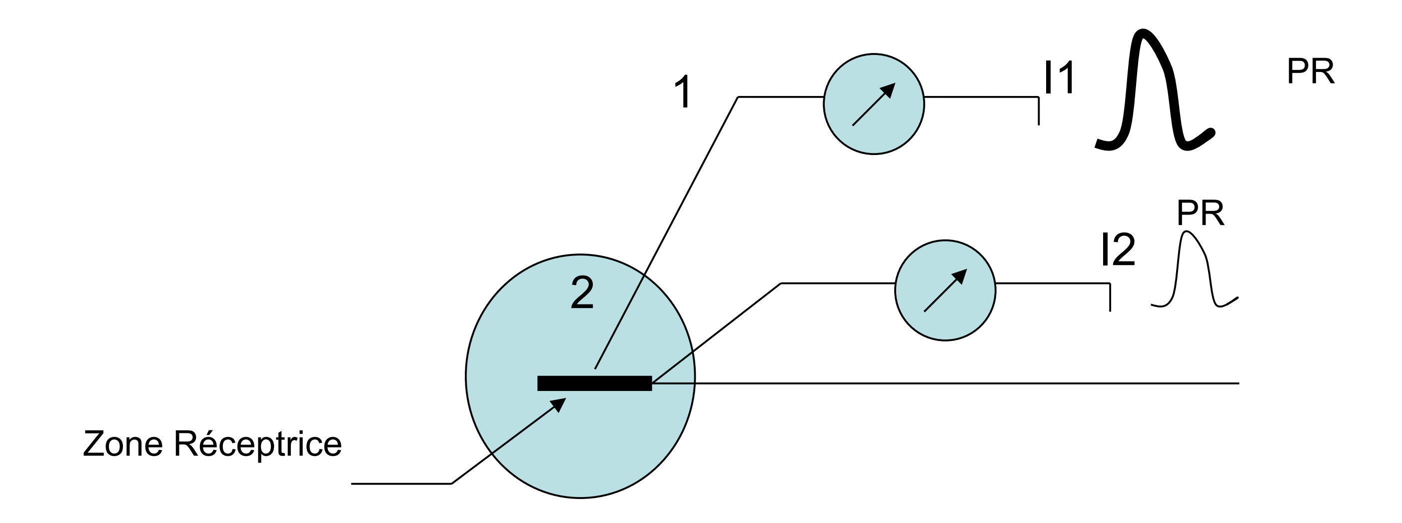
Le stimulus agit sur une structure spécialisée :le **Site Transducteur**; il s'y crée une variation de potentiel membranaire (dépolarisation ou hyperpolarisation) dont le décours et l'amplitude sont fonction des variables du stimulus :PR.

Le PR au niveau du site transducteur produit une dépolarisation secondaire en un site membranaire plus ou moins éloigné du site transducteur: le **Site Générateur.**

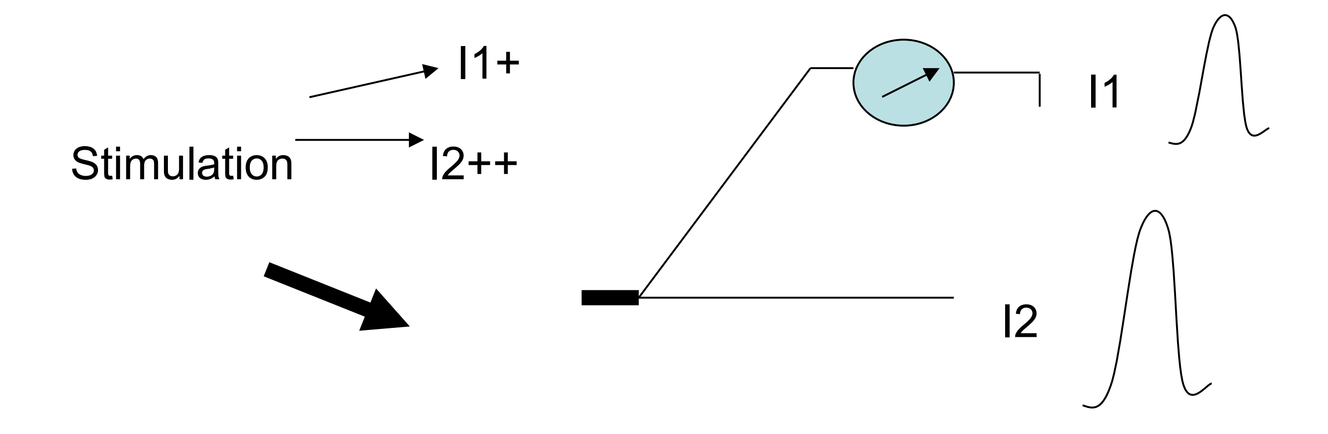
Le potentiel générateur peut cette fois générer des PA (avec mise en jeu des canaux ioniques potentiel dépondant) dès lors qu'il atteint un seuil critique.

b) Propriétés du potentiel de récepteur: PR

- C'est une réponse **locale**, CAD, localisée au niveau de la structure réceptrice, son amplitude décroît d'une façon exponentielle au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone réceptrice:



- C'est un phénomène **graduable**, l'amplitude est en fonction de l'intensité de la stimulation:



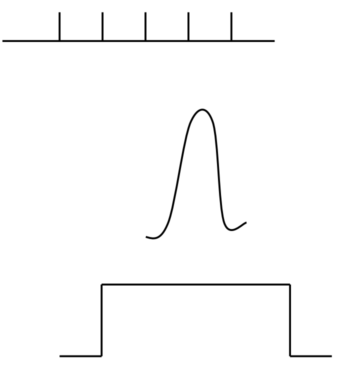
- C'est une réponse **sommable:** CAD pour deux stimuli faiblement espacés dans le temps, les potentiels récepteurs s'additionnent.

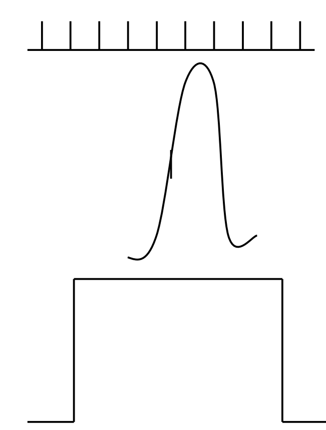
c) Codage de l’intensité du stimulus

➢ Codage temporel

- Si l’intensité de la stimulation augmente l’amplitude du potentiel récepteur augmente
- Si l’ amplitude du potentiel récepteur augmente la fréquence du PA augmente
- La fréquence de décharge du PA est proportionnelle au Log de l’intensité de la stimulation: loi de STEVENS.

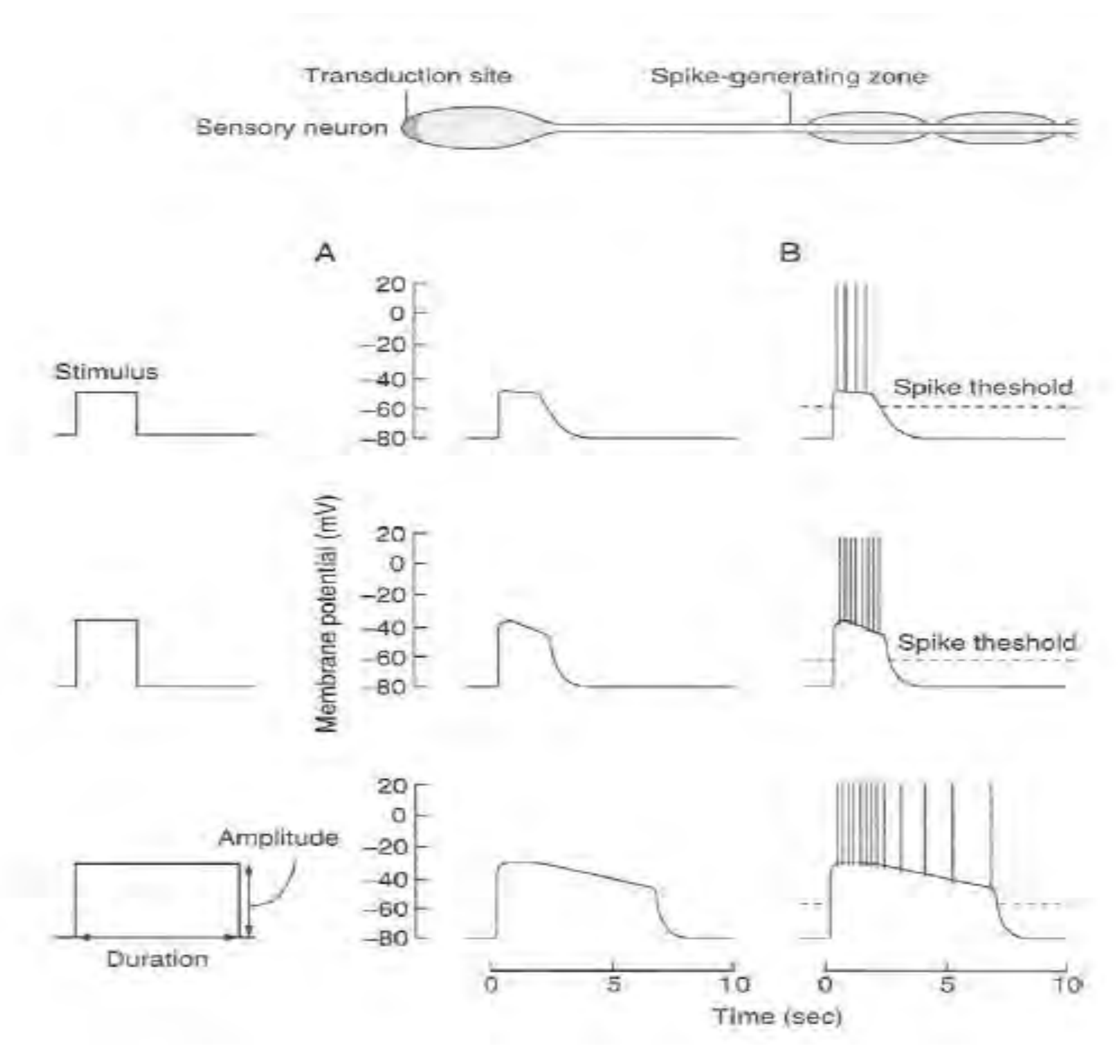
$$F=K\text{Log}\ (S/S°)\ \text{ou}\ F=k(S-S°)n$$

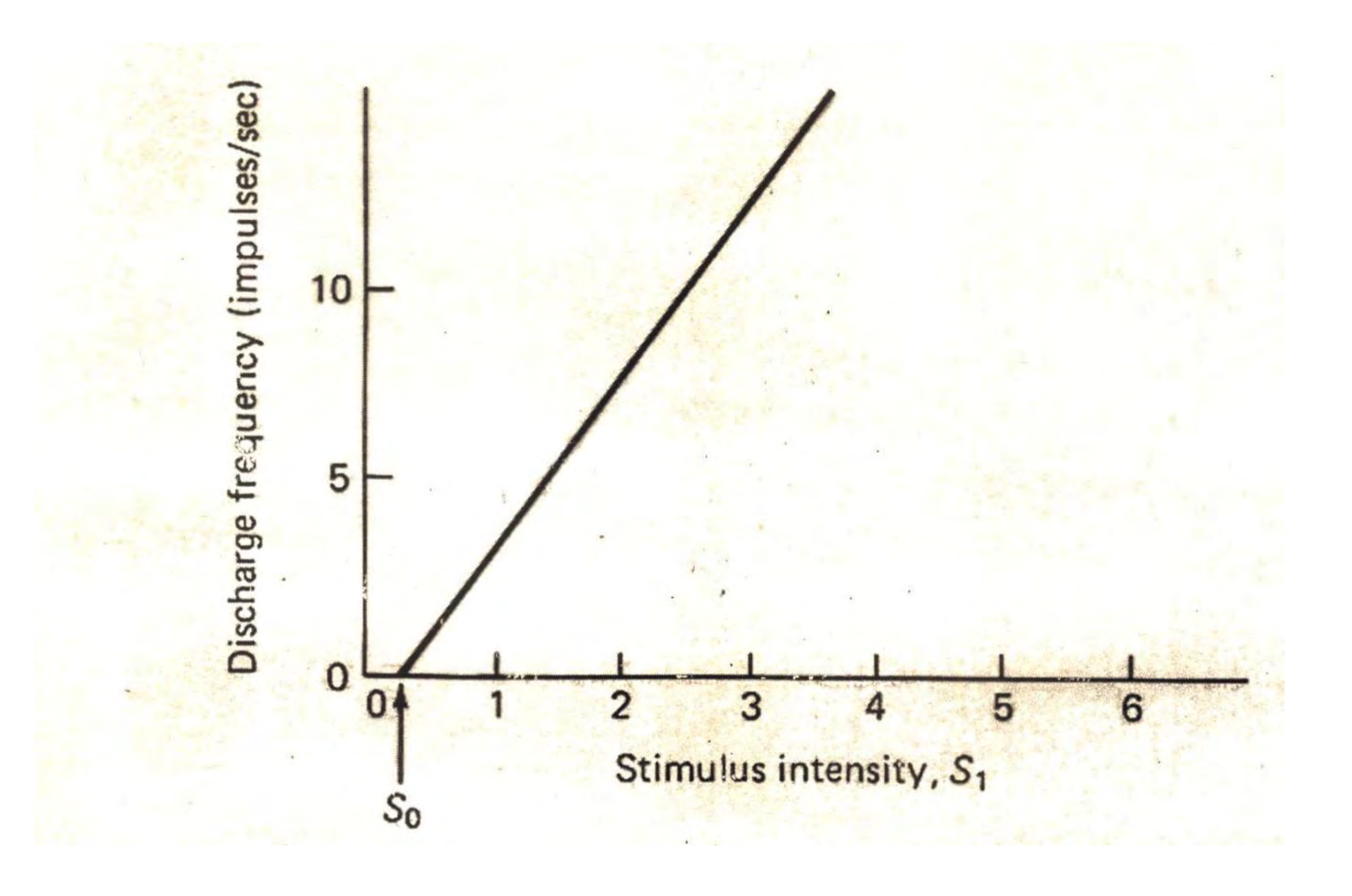




➢ Codage spatial

- Si l’intensité de la stimulation augmente, plusieurs nouveaux récepteurs vont être activés


Transduction site
Spike-generating zone
Sensory neuron
A
B
Stimulus
Spike theshold
Spike theshold
Membrane potential (mV)
20
0
−20
−40
−60
−80
Amplitude
Duration
0
5
10
Time (sec)


Discharge frequency (impulses/sec)
10
5
0
0
1
2
3
4
5
6
Stimulus intensity, S_1
S_0

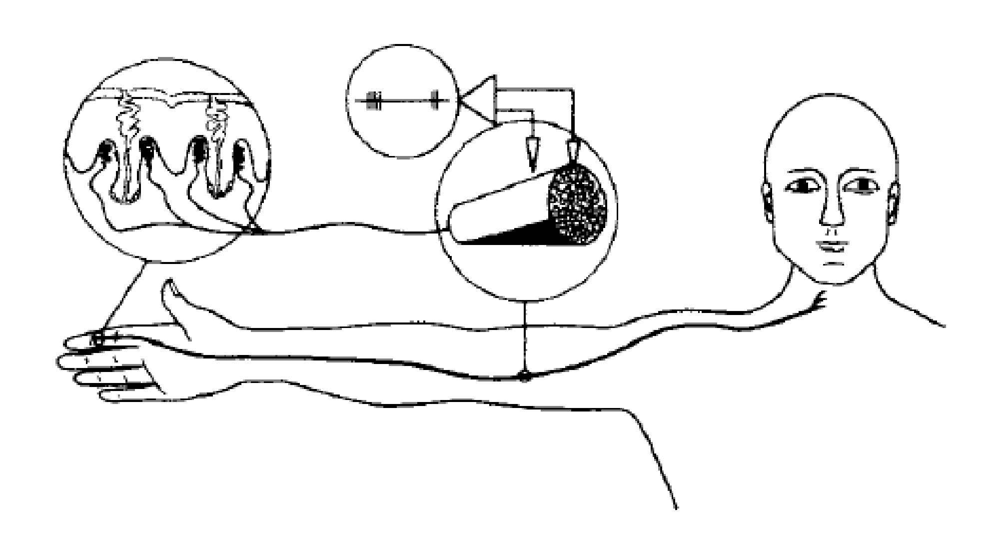
d) Codage de la durée (phénomène d’adaptation)

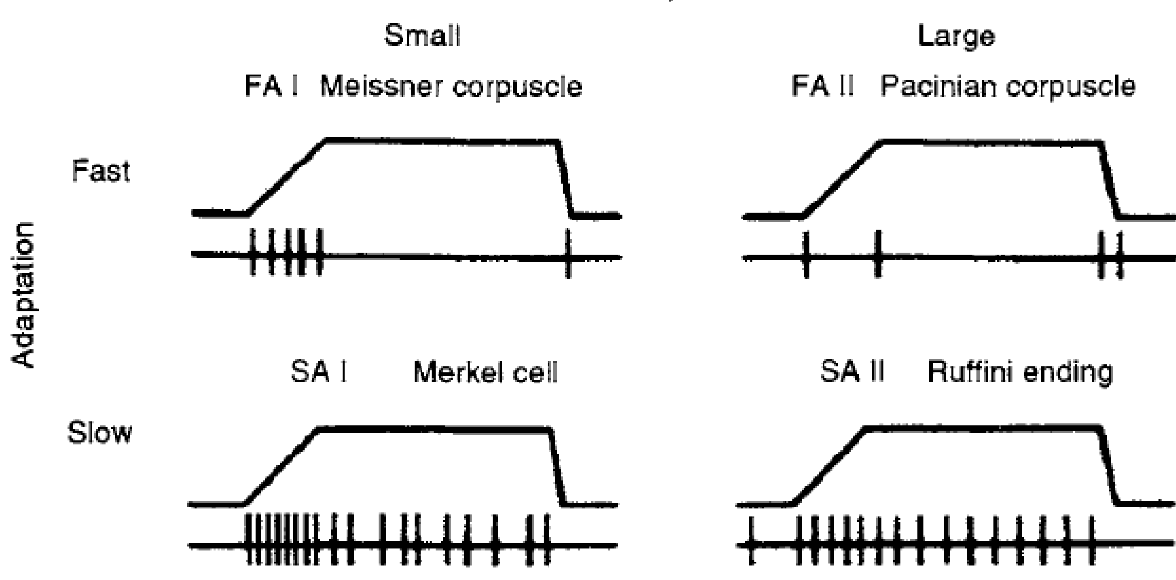
Lorsqu’un récepteur est stimulé pendant une longue période, deux types de réponses peuvent se voir:

- La réponse va persister pendant toute la durée de la stimulation, on parle de réponse de type TONIQUE ou bien PEU ADAPTABLE

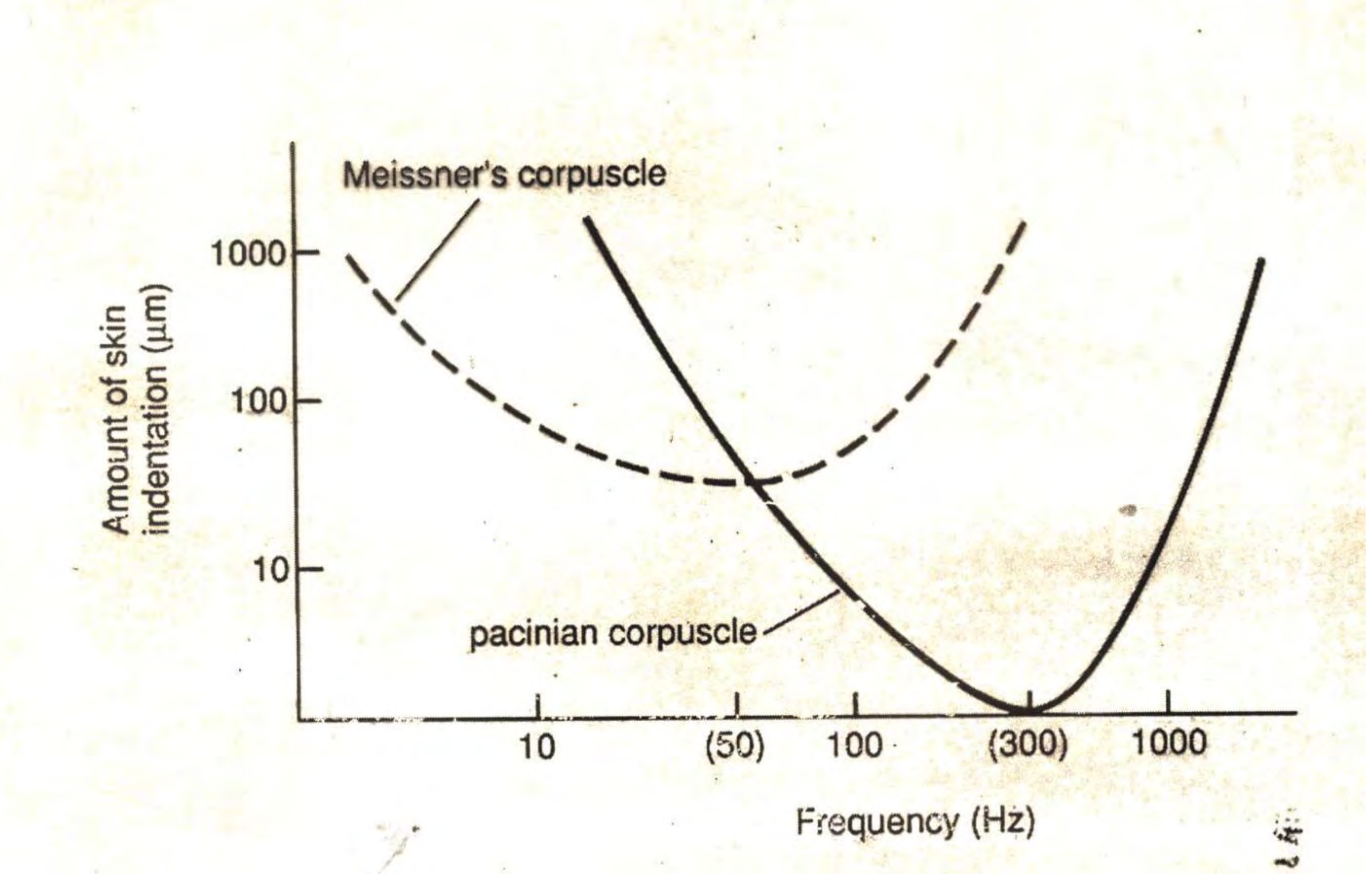
- La réponse n’est enregistrée que lors de l’application de la stimulation, elle diminue nettement et même disparaître par la suite même si la stimulation dure, on parle alors de réponse de type PHASIQUE et on dira que le récepteur est de type PHASIQUE ou très ADAPTABLE.

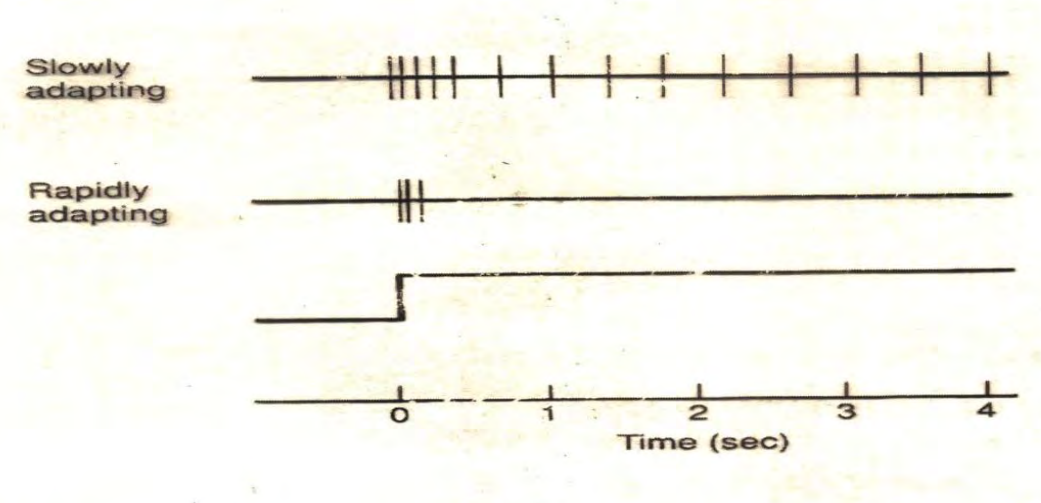
NB : La vitesse de cette adaptation dépend du type de récepteur




Receptive fields
Small
Large
FA I Meissner corpuscle
FA II Pacinian corpuscle
Fast
Adaptation
SA I Merkel cell
SA II Ruffini ending
Slow

Les Modalités de Codage dans le Système Sensoriel





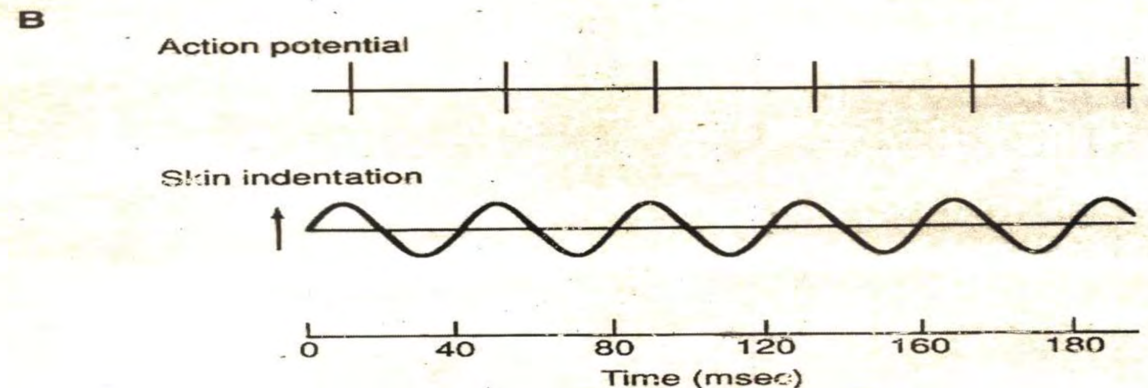


FIGURE 24–8
Slowly adapting mechanoreceptors continue responding to a steady stimulus, whereas rapidly adapting mechanoreceptors respond only at the beginning of the stimulus.

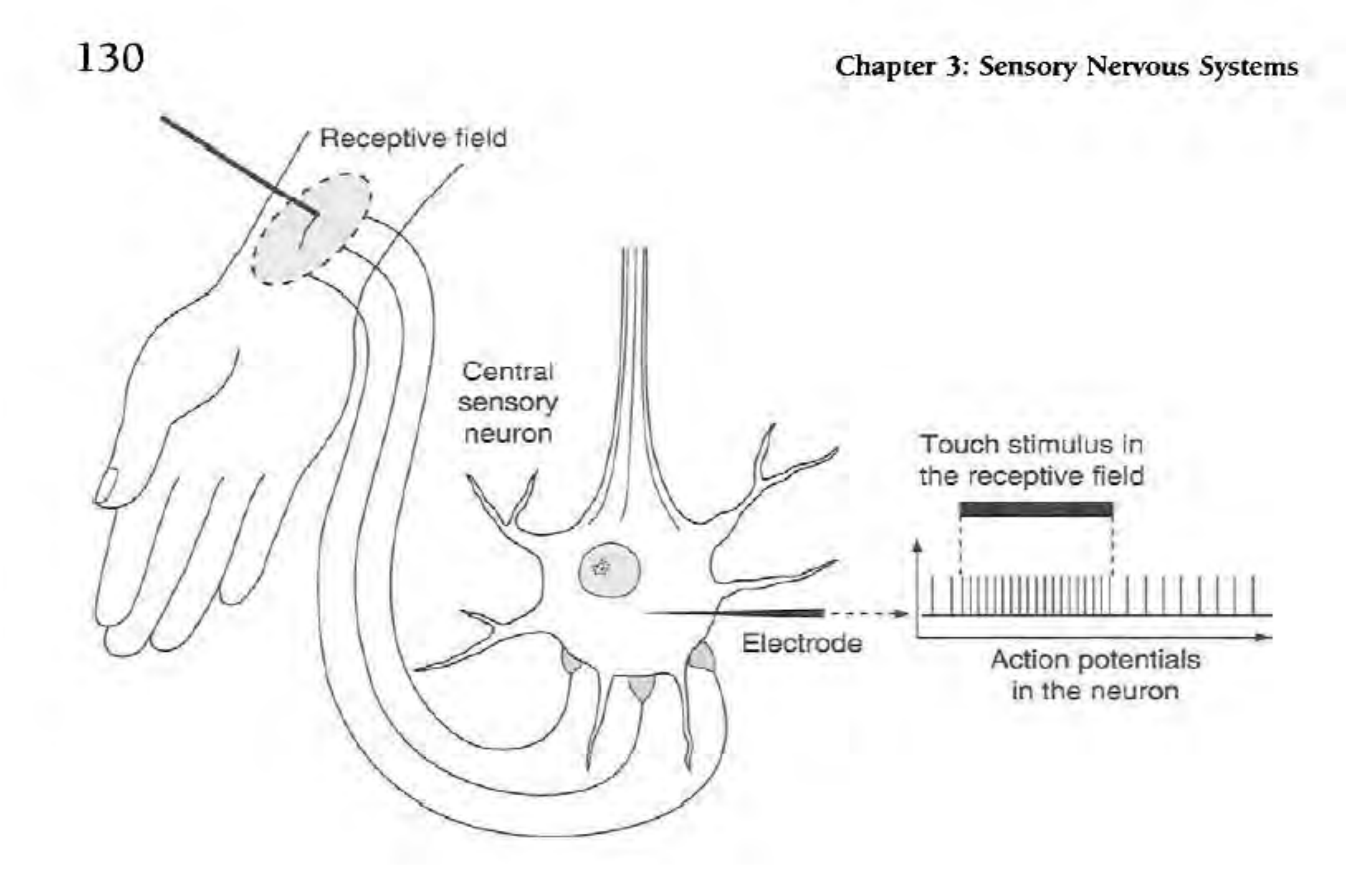
A. Responses of slowly and rapidly adapting mechanoreceptors to a step indentation of the skin.

B. A rapidly adapting mechanoreceptor responds to sinusoidal mechanical stimuli with a single action potential for each phase of the stimulus.

e) Le codage de la localisation du stimulus

- L'enregistrement de l'activité dans une fibre sensorielle montre que celle-ci peut être mise en jeu par la stimulation d'un certain espace sensoriel, ce dernier constitue le <<**CHAMP RECEPTEUR**>> de la fibre: le CR est le contour de la surface cutanée ou de la surface rétinienne à l'intérieur duquel le stimulus dois se situer pour exciter le récepteur .

- Il peut également exister un gradient d'excitation tel que la réponse du récepteur soit plus importante et/ou le seuil absolu plus bas) au centre du CR qu'à la périphérie.



Champ Récepteur

Corpuscule de Pacini

Définition :

Le Corpuscule de Pacini est un mécanorécepteur bien différencié très adaptable à bas seuil de stimulation, présent dans les régions sous-cutanés et les tissus conjonctifs profonds (périoste, mésentère, tendons, ligaments et capsules articulaires).

Il est sensible aux pressions et aux mouvements rapides des tissus (surtout les vibrations).

Il est innervé par des fibres myélinisés de gros diamètre (A bêta= gr II).

Structure :

Le C.P consiste en une terminaisons nerveuse non myélinisée, entourée d'une capsule viscoélastique formée de lamelles conjonctives concentriques jusqu'au point situé entre le 1er et le 2eme Nœud de Ranvier.

Fonction :

1. Détection du mouvement et phénomène d'adaptation :

   Le C.P à un axe formé de l'extrémité d'une fibre nerveuse (non myélinisée), entourée de lamelles conjonctives concentrique de sorte qu'une compression ou une déformation tissulaire brusque appliquée d'un côte se transmet immédiatement, grâce à la viscosité, à l'axe central et déclenche un potentiel de récepteur par activation des canaux ioniques membranaire étirés.

Ce potentiel constitue la réponse du début du stimulus (=1 ou 2 potentiels d'action), c'est la ON Réponse. La redistribution du liquide à l'intérieure du corpuscule aboutit à une égalisation des pressions, et l'axe recevant des pressions égales des deux côtes n'est plus stimulé, d'où le silence électrique qui caractérise cette phase.

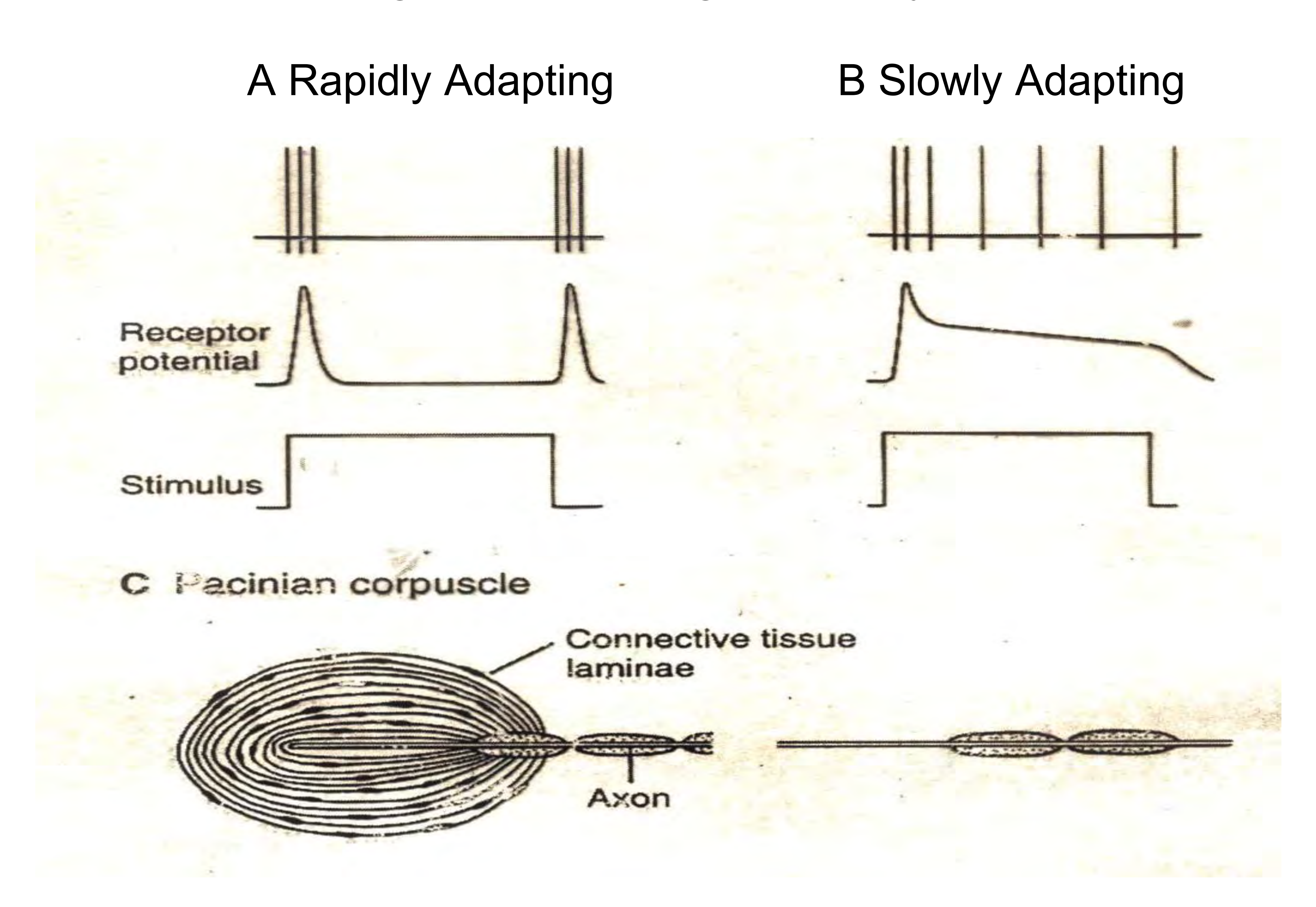
Ainsi les structures accessoires fonctionnent comme des filtres éliminant les composantes persistantes et lentes du stimulus (Rôle tampon). Quand la pression est supprimée, la capsule retrouve sa forme initiale et le mouvement tissulaire résultant, stimule là encore, la terminaison nerveuse produisant 1 ou 2 potentiels d'action, c'est la OFF réponse.

Donc, le récepteur répond par 1 ou 2 potentiels au début et à la fin de la stimulation, mais est silencieux quand le stimulus est constant en intensité.

L'adaptation du récepteur arrive à extinction en quelques millièmes de secondes d'où son classement avec les récepteurs d'adaptation rapides. L'enlèvement de ces structures (dé lamellation) transforme le C. P. d'un récepteur d'adaptation rapide à un récepteur d'adaptation lente (par accommodation de la terminaison nerveuse).

2.Sens de vibration : les C.P. sont extrêmement sensibles aux vibrations, ces mouvements rapides sont transmis à travers les lamelles à la terminaison nerveuse générant un potentiel de récepteur à chaque cycle vibratoire.

Coding and processing of sensory information



Fuseau Neuromusculaire: FNM

Définition :

Le fuseau neuromusculaire est un propriocepteur de bas seuil, sensible à l'étirement musculaire ; Il se caractérise par une innervation sensitive et motrice et est impliqué dans le tonus musculaire et la motricité.

C'est une formation très différenciée située dans la partie charnue des muscles striés squelettique

Structure :

Les FNM sont des structures encapsulées de forme allongées, chaque fuseau se compose de 3 à 10 petites fibres musculaires intra fusales. Les fibres intra-fusales présentent des extrémités riches en myofilaments, elles sont donc contractiles. Par contre, la partie équatoriale est dépourvue de myofilaments.

On distingue deux catégories de fibres intra-fusales :

- Les fibres à sac musculaire dont les noyaux sont localisés au niveau de la partie équatoriale.
- Les fibres à chaîne nucléaire dont les noyaux sont disposés tout le long de la fibre.

Grâce aux études physiologiques on a pu distinguer deux types de fibres à sac nucléaire (dynamique et statique).

Le FNM typique de mammifère contient deux fibres à sac nucléaire (un de chaque type) et un nombre variable de fibres à chaîne nucléaire (environ 5).

Innervation du Fuseau Elle est sensitive et motrice.

o **L'innervation sensitive** est double, assurée par:

• Les fibres **Ia**: Ce sont des fibres myélinisées de gros diamètres (12- 20 µ) elles donnent naissance aux terminaisons primaires au niveau des fibres à sac et à chaîne nucléaire.

• Les fibres **II**: Elle sont également myélinisées mais plus petit (4 - 12 u), elle donnent naissance aux terminaisons secondaire presque exclusivement sur les fibres à chaîne nucléaire (et les fibres à sac statiques).

o **L'innervation motrice :** Elle est assurée par les fibres GAMMA provenant des motoneurones GAMMA (localisés au niveau de la Moelle épinière) ces fibres vont se terminer sur les extrémités contractiles des fibres à sac et à chaîne nucléaire. Les motoneurones GAMMA constituent le système fusumoteur. (par opposition au système squeletto-moteur. (motoneurones alpha)

Fonctionnement: le FNM est excitable de deux façons :

▪soit par un étirement global du muscle dans lequel le FNM se trouve inclut.

▪soit par une contraction isolée des extrémités des fibres intra-fusales, entraînant un étirement de la portion médiane réceptrice.

À la suite d'un étirement musculaires on enregistre au niveau des terminaisons primaire et secondaires, une réponse locale, graduable » c'est une dépolarisation .

- **Réponse au niveau des fibres de type Ia.**

Si on étire un muscle (à vitesse constante puis on maintient de l'étirement) on enregistre au niveau de la fibre **Ia** deux types de réponses :

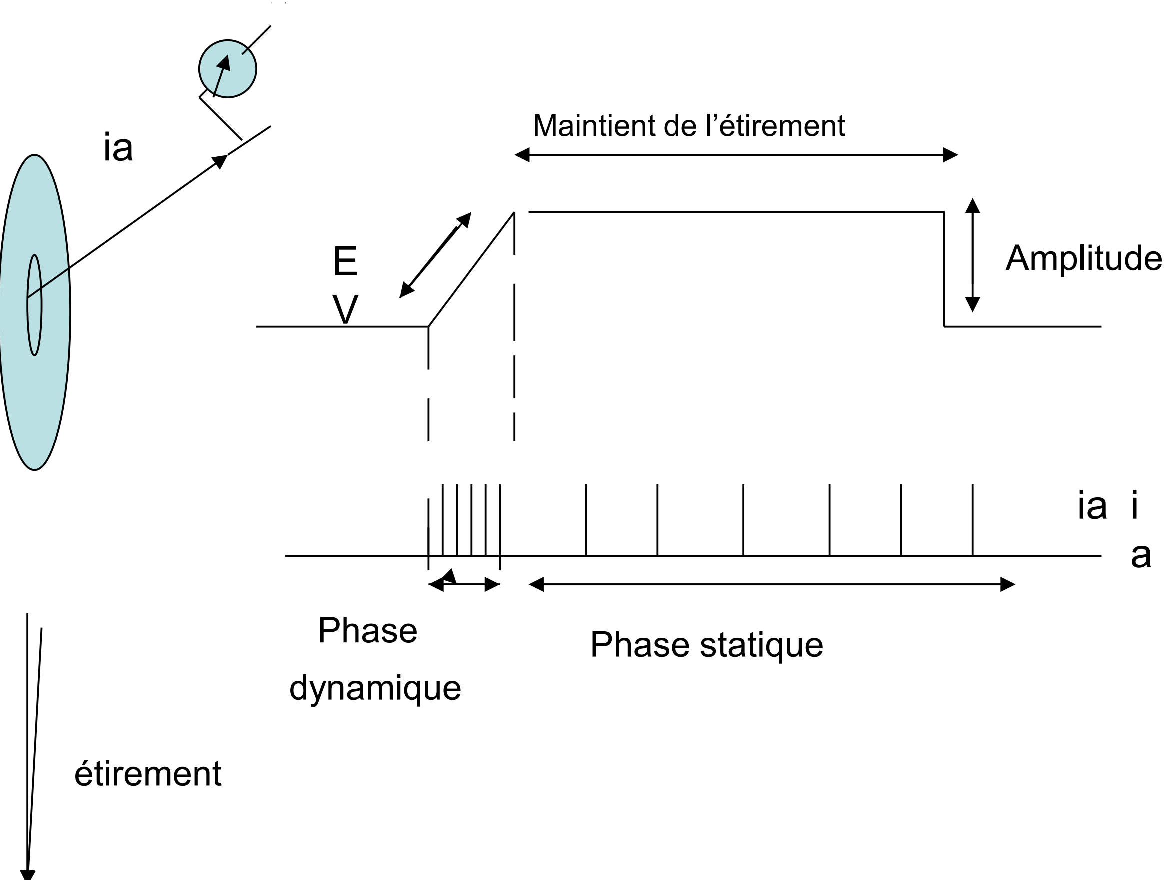
- Une phase dynamique : au cours de laquelle la fréquente du PA est une fonction de la vitesse d'étirement cette phase est suivie d'une.
- Une phase statique : la fréquence du PA est une fonction de l'amplitude de l'étirement et de son intensité.

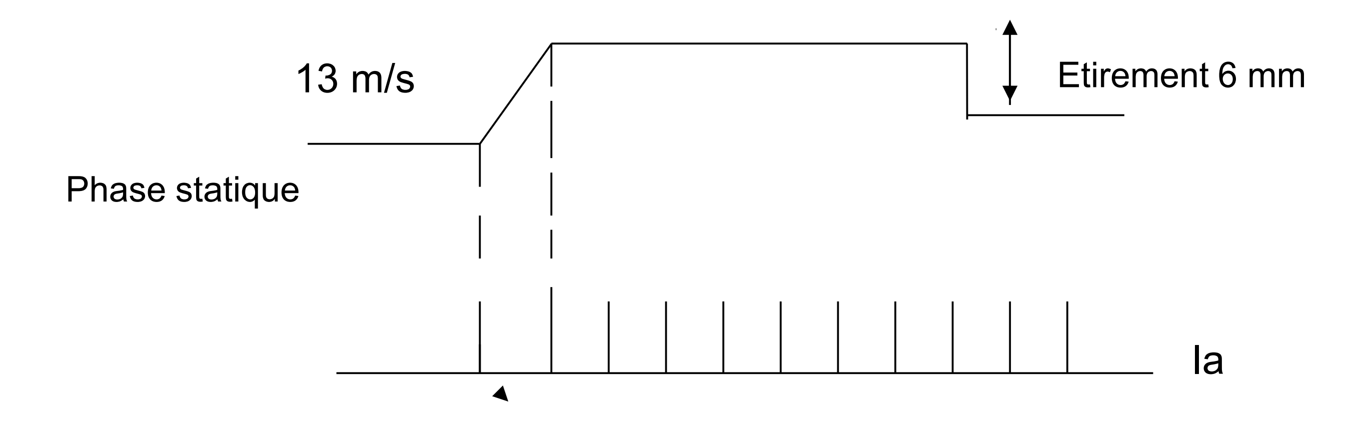
- **Réponse au niveau des fibres de type II.**

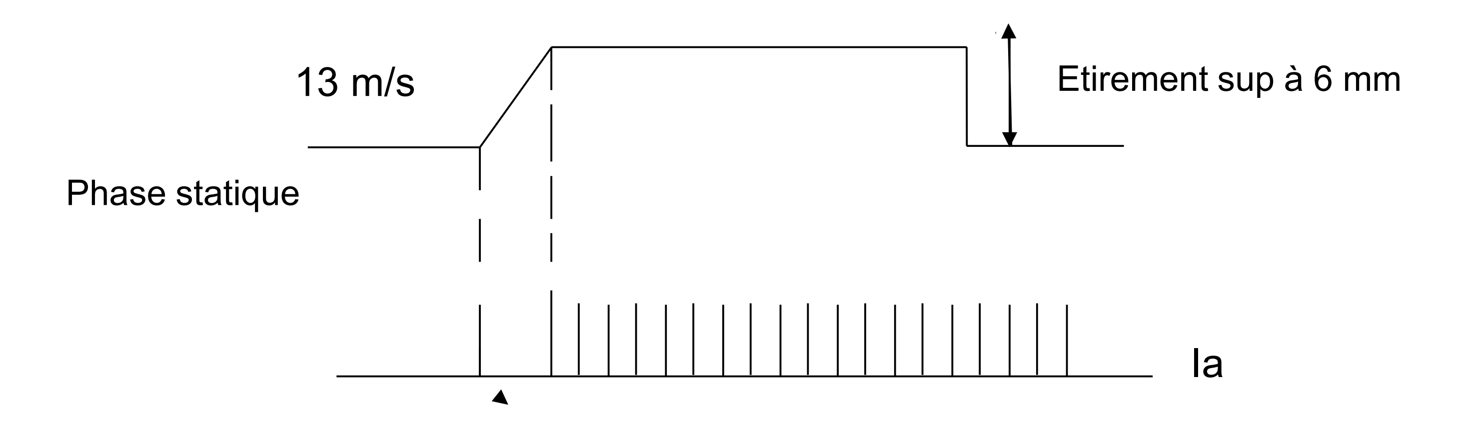
Seule la phase statique est observée et la fréquence du PA est proportionnelle au degré de l'étirement (Les fibres de type II renseignent uniquement sur l'amplitude).

Terminaison **I** : Vitesse et amplitude

Terminaison **II**: L'Amplitude


ia
Maintient de l'étirement
E
V
Amplitude
ia i
a
Phase
dynamique
Phase statique
étirement





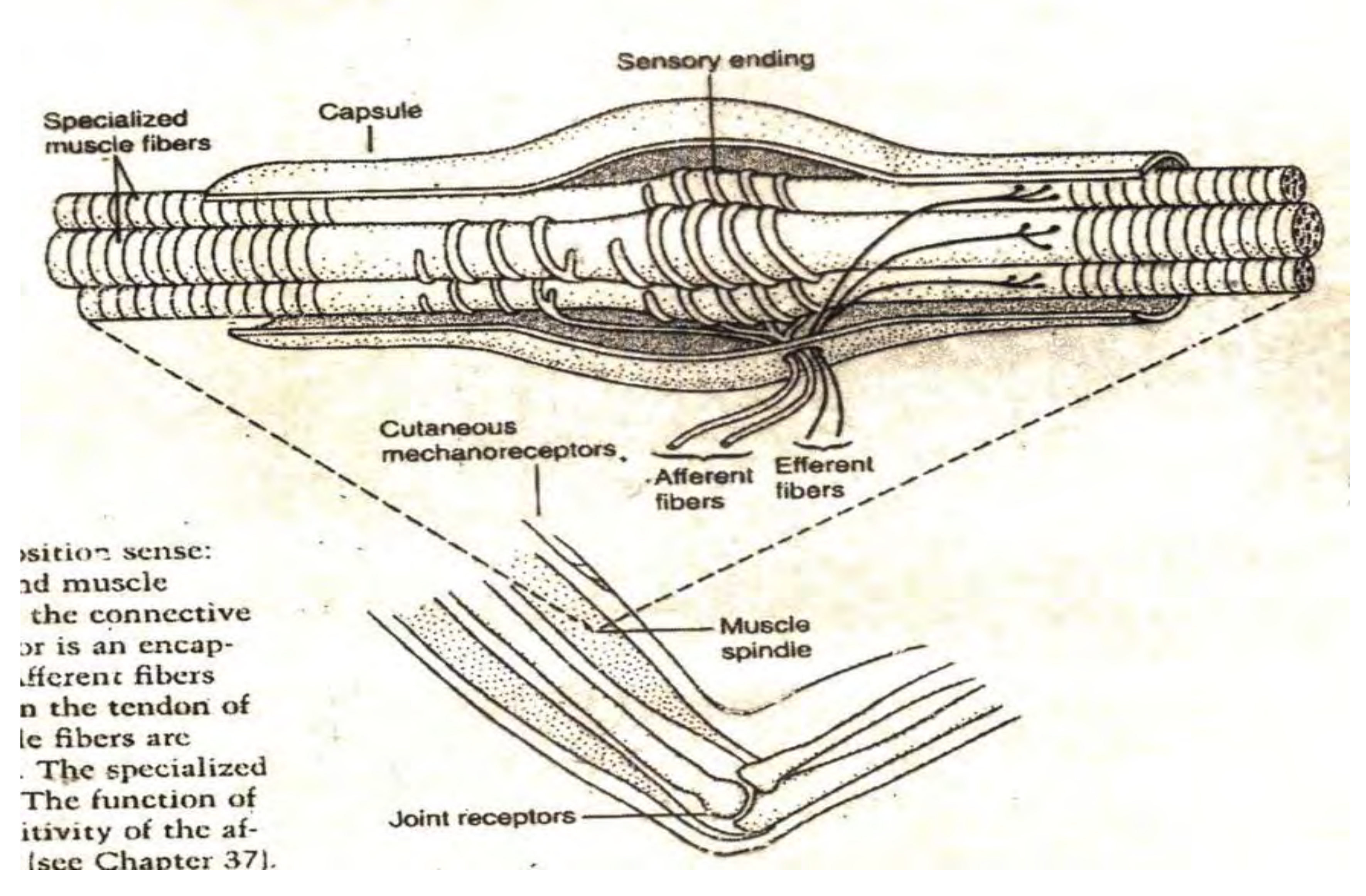
Réponse au niveau des fibres de type II

- **Rôle de l'innervation GAMMA.**

Il est mis en évidence en stimulant les fibres GAMMA du fuseau neuromusculaire et on enregistrant l'activité au niveau des fibres **Ia** et **II**:

- ✓ L'activation des efférences GAMMA cause la contraction et le raccourcissent des régions polaires des fibres intra fusales lesquelles à leur tour étirent la région centrale équatoriale non contractiles, ⇒ d'ou modification de la perméabilité des terminaisons primaires et secondaires ⇒ naissance d'un PR ⇒ entraînant la naissance de PA au niveau de **Ia** et **II.**
- ✓ A l'inverse un raccourcissement du FNM se traduit par une diminution momentanée de la fréquence de décharge dans les terminaisons primaires; dès l'arrêt du raccourcissement , les influx réapparaissent dans la fibre Ia en une fraction de seconde.
- ✓ Ainsi les terminaisons **primaires** apparaissent extrêmement sensibles et informent fidèlement le SNC de toute variation de longueur survenant dans l'aire réceptrice du FNM (portion centrale).

Modality coding in the somatic sensory system



Conclusion: Retenez que

- Nous ne connaissons notre propre environnement tout comme notre propre corps qu 'au travers de nos organes des sens.
- La somme des impressions provenant des organes sensoriels entraîne une sensation, qui, interprétée en fonction de notre expérience, constitue la perception.

Références

- PRICIPLES OF NEURAL SCIENCE:

  Eric R.Kandel

  James H .Schwartz

- Mayo Clinic Medical Neurosciences

  Organized by Neurologic Systems and Levels.

  Eduardo E. Benarroch, MD

  Jasper R. Daube, MD

  Kelly D. Flemming, MD

  Barbara F. Westmoreland, MD

- Sensory syems; Anatomy and Physiology:

  AAGE R MOLLER

- Neurosciences:cours de neurobranches


Merci